

This Page Is Inserted by IFW Operations  
and is not a part of the Official Record

## **BEST AVAILABLE IMAGES**

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images may include (but are not limited to):

- BLACK BORDERS
- TEXT CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES
- FADED TEXT
- ILLEGIBLE TEXT
- SKEWED/SLANTED IMAGES
- COLORED PHOTOS
- BLACK OR VERY BLACK AND WHITE DARK PHOTOS
- GRAY SCALE DOCUMENTS

**IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.**

**As rescanning documents *will not* correct images,  
please do not report the images to the  
Image Problem Mailbox.**

# PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11) Publication number : 11-273030

(43) Date of publication of application : 08.10.1999

(51) Int.CI. G11B 5/39

(21) Application number : 10-073997 (71) Applicant : HITACHI METALS LTD

(22) Date of filing : 23.03.1998 (72) Inventor : FUKAMACHI KEISUKE  
MITSUMATA CHIHARU  
SHIMOE OSAMU

## (54) MAGNETO-RESISTANCE EFFECT TYPE MAGNETIC HEAD

### (57) Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To reduce the fluctuation in a reproduced output even though the width of a reproducing track and the reproducing gap are made narrower by setting the relationships among the reproducing track width, the reproducing gap film thickness, the residual magnetization film thickness product of a permanent magnet film and the saturated magnetization film thickness product of magnetically sensitive layer to specific regions.

SOLUTION: The magneto-resistance effect type magnetic head is provided with the reproducing element having a magneto-resistance effect and the permanent magnet film which applies a longitudinal bias magnetic field to the element. Let the reproducing track width be  $TW$  ( $\mu m$ ), the reproducing gap film thickness be  $Gl$  ( $\mu m$ ), the residual magnetization film thickness product of the permanent magnet film be  $Mrt$  ( $memu/cm^2$ ) and the saturated magnetization film thickness product of the magnetically sensitive layer be  $Mst$  ( $memu/cm^2$ ). Then, the permanent magnet film and the magnetically sensitive layer are made to satisfy the relationships of equations I and II and the reproducing track width is set to  $\leq 1.5 \mu m$  and the reproducing gap length is set to  $\leq 0.2 \mu m$ . By having the structure, which satisfies the range above, the permanent magnet film applies a sufficient amount of magnetic flux to the

magnetically sensitive layer even though the reproducing track width and the reproducing gap length are made narrower.

---

#### LEGAL STATUS

[Date of request for examination] 23.02.2004

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of extinction of right]

Copyright (C); 1998,2003 Japan Patent Office

## \* NOTICES \*

Japan Patent Office is not responsible for any damages caused by the use of this translation.

1. This document has been translated by computer. So the translation may not reflect the original precisely.
2. \*\*\*\* shows the word which can not be translated.
3. In the drawings, any words are not translated.

## CLAIMS

## [Claim(s)]

[Claim 1] In the magneto-resistive effect mold magnetic head equipped with the permanent magnet film which impresses a vertical bias field to the playback component which has a magneto-resistive effect, and said playback component Tw (micrometer) and playback gap thickness for regenerative-track width of face Gl (micrometer), The relation between the regenerative-track width of face when setting the saturation magnetization thickness product of Mrt (memu/cm<sup>2</sup>) and a magnetosensitive layer to Mst (memu/cm<sup>2</sup>), playback gap thickness, the residual magnetization thickness product of the permanent magnet film, and the saturation magnetization thickness product of a magnetosensitive layer the residual magnetization thickness product of the permanent magnet film  $Mrt/Mst \leq 0.0649Tw^3/2/Gl + 1.92$  (1)  
 $Mrt/Mst \geq 0.0317Tw^3/2/Gl + 1.07$  (2)

The magneto-resistive effect mold magnetic head which is in the field prescribed to be alike, and is characterized by for regenerative-track width of face being 1.5 micrometers or less, and playback gap length being 0.2 micrometers or less.

[Claim 2] The magneto-resistive effect mold magnetic head to which remanence ratio  $S = Mr/Ms$  which is the magneto-resistive effect mold magnetic head according to claim 1, and is given by the ratio of the residual magnetization Mr of said permanent magnet film and saturation magnetization Ms is characterized by or more 0.6 being 1.0 or less.

[Claim 3] The magneto-resistive effect mold magnetic head characterized by being the magneto-resistive effect mold magnetic head indicated by claim 2, being the alloy with which said permanent magnet film uses Co as a principal component, and being the permanent magnet film of Cr, Ta, Pt, and nickel which includes any one or more kinds at least as an alloying element to said alloy.

[Claim 4] The magneto-resistive effect mold magnetic head characterized by being constituted with two soft magnetism film with which the laminating of the playback component which is the magneto-resistive effect mold magnetic head according to claim 3, and has a magneto-resistive effect was carried out through the spacer of non-magnetic metal.

---

[Translation done.]

## \* NOTICES \*

Japan Patent Office is not responsible for any damages caused by the use of this translation.

1. This document has been translated by computer. So the translation may not reflect the original precisely.
2. \*\*\*\* shows the word which can not be translated.
3. In the drawings, any words are not translated.

---

## DETAILED DESCRIPTION

---

### [Detailed Description of the Invention]

#### [0001]

[Field of the Invention] This invention relates to the configuration of the permanent magnet film which constitutes especially the playback component of the magnetic head, a playback gap, and regenerative-track width of face about the magnetic head used for magnetic recording media, such as a hard disk drive unit and VTR.

#### [0002]

[Description of the Prior Art] Small large capacity-ization of magnetic recording media, such as a hard disk drive unit or VTR, is progressing with rapid vigor. High performance-ization of the magnetic head was advanced in response to such a trend, and it has evolved into the anisotropy magneto-resistive effect head (following AMR head) using the magneto-resistive effect phenomenon of a thin film from the thin film magnetic head which is an electromagnetic induction type further with the spin bulb mold magneto-resistive effect head (following SV head). The conventional AMR head is for example, the well-known reference IEEE. It is stated to Trans.Magn.Vol26(1990) pp1689. That is, the magneto-resistive effect mold component (following MR component) which reproduces the magnetic signal on a magnetic-recording medium serves as structure put between the shielding magnetic film which covers MR component magnetically through the playback gap film which consists of a non-magnetic material. On the other hand, the induction type magnetic head is used for the magnetic pole which records a magnetic signal on a magnetic-recording medium, and it has the structure by which the laminating was carried out on the shielding magnetic film in it.

[0003] In order to make surface recording density increase with a magnetic recording medium, improvement in track recording density and track density is indispensable. In order to raise track density, it is necessary to decrease regenerative-track width of face. Moreover, in order to raise track recording density, and to narrow-ize a record bit, gap length of a recording head is narrowed or it is necessary to carry out \*\*(ing) the flying height of a recording head and a record medium low etc., and to write in a more detailed bit on a magnetic-recording medium, but the inclination for a playback output to decrease is shown, so that it becomes a RF according to the wave-like cross protection of a playback output. In order to prevent this, the magnetic head of the structure which puts a playback component with shielding came to be used. A playback component means the thing of structure which participates in playback actuation of the magnetic head here including MR component.

[0004] By the way, MR component used for a playback component tends to be influenced of the magnetic domain wall generated in MR component, or magnetic-domain structure, and needs control of a Barkhausen noise. He is IEEE as one of the control means. As indicated by Trans.Magn.Vol.32(1996) pp19, there is a method of impressing a bias field to MR component using the permanent magnet film made to adjoin MR component. It can control that the impressed bias field eases the effect of an anti-field generated at the edge of the truck cross direction of MR component, and a magnetic domain generates it in MR component.

[0005] For example, the technique which specified the ingredient of a concrete permanent magnet about

the technique indicated above is indicated by U.S. Pat. No. 5434826. It consists of ingredients, such as CoCrPt, CoCrTa, CoCrTaPt, and CoCrPtB, as an ingredient which constitutes the permanent magnet film from this technique, and it is shown clearly that the residual magnetization at the time of the thickness of 500-600A and the product of thickness are set to 2.38-3.78 (memu/cm<sup>2</sup>) as a description of such an ingredient.

[0006] Moreover, about the effect which the magnetic properties of the permanent magnet film have to the property of the magneto-resistive effect mold magnetic head, it turns out that dispersion in the playback output of a Barkhausen noise or the magnetic head can be reduced by raising the property of the coercive force of the permanent magnet film like the technique indicated by JP,7-93714,A.

[0007]

[Problem(s) to be Solved by the Invention] However, since the bias field which the permanent magnet film generates is the technique of controlling and stabilizing magnetization rotation of a playback component, spacing of the permanent magnet film which adjoined when the width of recording track was decreased, in order to raise track density becomes small, and it shows the inclination which the effectiveness of the magnetization rotation control by the bias field increases. For this reason, the sensibility of a playback component falls further and we are anxious about the fall of a playback output. Moreover, if shielding spacing is made small in order to raise track recording density, the magnetic flux from the permanent magnet film is absorbed by up shielding and lower shielding like drawing 4 , a vertical bias field is not effectually impressed to MR component, and the instability of a playback output cannot be controlled. Therefore, in order to control the instability of a playback output like a Barkhausen noise and to obtain the magnetic head with a high playback output, it is required to use the permanent magnet film of the property corresponding to the regenerative-track width of face and playback gap length by recording density.

[0008]

[Means for Solving the Problem] In the magneto-resistive effect mold magnetic head which the magneto-resistive effect mold magnetic head of this invention equips with the permanent magnet film which impresses a vertical bias field to the playback component which has a magneto-resistive effect, and said playback component Tw (micrometer) and playback gap thickness for regenerative-track width of face Gl (micrometer), The relation between the regenerative-track width of face when setting the saturation magnetization thickness product of Mrt (memu/cm<sup>2</sup>) and a magnetosensitive layer to Mst (memu/cm<sup>2</sup>), playback gap thickness, the residual magnetization thickness product of the permanent magnet film, and the saturation magnetization thickness product of a magnetosensitive layer the residual magnetization thickness product of the permanent magnet film  $Mrt/Mst \leq 0.0649Tw^3/2/Gl + 1.92$  (1)  $Mrt/Mst \geq 0.0317Tw^3/2/Gl + 1.07$  (2)

It is in the field prescribed to be alike, and is characterized by for regenerative-track width of face being 1.5 micrometers or less, and playback gap length being 0.2 micrometers or less.

[0009] Here, regenerative-track width of face expresses the dimension of the playback component in the truck cross direction. Moreover, playback gap length points out the thing of spacing of up shielding and lower shielding. [ / near the playback component ] Here, up shielding and lower shielding are arranged so that a playback component may be pinched through the playback gap film. Moreover, the value which lengthened the thickness of the permanent magnet film is expressed as playback gap thickness from playback gap length [ / near / peace / the thickness of the playback gap film in the sense perpendicular to the truck cross direction a value or near the playback component ]. A magnetosensitive layer is a layer which detects a magnetic signal, in the case of the AMR head, MR layer is shown, and, in the case of SV head, the thing of a free layer is expressed.

[0010] In the magneto-resistive effect mold magnetic head of this invention, remanence ratio S=Mr/Ms given by the ratio of the residual magnetization Mr of said permanent magnet film and saturation magnetization Ms is characterized by or more 0.6 being 1.0 or less.

[0011] Moreover, in the magneto-resistive effect mold magnetic head of this invention, it is characterized by for said permanent magnet film being the alloy which uses Co as a principal component, and being the permanent magnet film of Cr, Ta, Pt, and nickel which includes any one or

more kinds at least as an alloying element to said alloy.

[0012] Moreover, in the magneto-resistive effect mold magnetic head of this invention, the playback component which has a magneto-resistive effect is characterized by being constituted by two soft magnetism film by which the laminating was carried out through the spacer of non-magnetic metal, and being.

[0013]

[Embodiment of the Invention] In drawing 1, the range of desirable magnetization ratio  $M_{rt}/M_{st}$  is shown in controlling the instability of a playback output to  $Tw3/2/G1$  specified by the regenerative-track width of face  $Tw$  (micrometer) and the playback gap thickness  $G1$  (micrometer). The saturation magnetization thickness product of  $M_{rt}$  (memu/cm<sup>2</sup>) and a magnetosensitive layer is set to  $M_{st}$  (memu/cm<sup>2</sup>) for the residual magnetization thickness product of the permanent magnet film here. The magneto-resistive effect mold magnetic head of this invention is (1) type and (2) types which were equipped with the permanent magnet film which impresses a vertical bias field to the playback component which has a magneto-resistive effect, and said playback component, and the permanent magnet film and a magnetosensitive layer showed in drawing 1.  $M_{rt}/M_{st} \leq 0.0649Tw3/2/G1 + 1.92$  (1)  $M_{rt}/M_{st} \geq 0.0317Tw3/2/G1 + 1.07$  (2)

It is a \*\*\*\*\* configuration, and regenerative-track width of face is set to 1.5 micrometers or less, and playback gap length is set to 0.2 micrometers or less. Even if it narrows regenerative-track width of face and playback gap length by using the configuration which fills the above-mentioned range, sufficient amount of magnetic flux can be impressed to a magnetosensitive layer from the permanent magnet film.

[0014] Order is explained later on about the configuration of this invention using each drawing below. Drawing 2 is the sectional view of the playback component part of the AMR head. It controls that the permanent magnet film is arranged to the both ends of MR component, impresses a bias field to MR component, and a magnetic domain generates it in MR component. Generally the structure which attached the taper to the both ends of MR component like drawing 2, and carried out the laminating of the permanent magnet film on it is called ABATTEDO junction. The formation process of ABATTEDO junction of MR film 1 / spacer 2 / SAL3, and the permanent magnet layer 7 is performed by the lift-off method as shown in drawing 3. Here, SAL expresses the contiguity soft magnetism film. It sets to drawing 3 (a) and is SAL3 / spacer 2/first. After carrying out the coat of the photosensitive resist 9 on the MR film 1, SiO210 is formed by a spatter etc. Next, after removing the excessive part of SiO210 by etching, a resist is alternatively etched by RIE (Reactive Ion Eching) etc. and a configuration like drawing 3 (b) is formed. After forming the taper section by ion milling after that, the substrate film 6 and the permanent magnet film 7, and an electrode layer 8 are formed by a spatter etc. one by one (drawing 3 (c)), finally an organic solvent etc. removes a resist 9 and SiO210, and ABATTEDO junction is formed (drawing 3 (d)).

[0015] Thus, in order to influence the configuration of formed permanent magnet \*\*\*\* of the height of the photosensitive resist 9 and SiO210, the thickness becomes thin gradually as it approaches MR component. The magnetic pole of the permanent magnet film at the time of being the configuration from which the tip was extracted to drawing 4, and distribution of a field were shown typically.

Magnetization of the permanent magnet film is performed in the  $Tw$  direction (sense of regenerative-track width of face) on the right-hand side of the drawing. Since a magnetic pole will be generated on a front face if a tip is extracted, it becomes such distribution. The bias field which contributes to magnetic-domain control is decided by the amount of magnetic flux generated from the magnetic pole near the MR component, and since the magnetic flux from a distant magnetic pole is absorbed by upper shielding and bottom shielding, it hardly contributes to magnetic-domain control. Drawing 5 is the result of the amount phi of magnetic flux given to MR component in drawing 4 asking for how it changes with the locations X where a magnetic pole appears by numerical calculation. The zero made the start point of the taper of a magnetosensitive layer zero. Numerical calculation gave permeability and a magnetic pole to each mesh with the two-dimensional finite element method, and calculated the amount of magnetic flux which passes a magnetosensitive layer. The parameter used by numerical calculation is shown in Table 1. Here, regenerative-track width of face was defined as the center position of the x directions of

the ABATTEDO plane of composition of a magnetosensitive layer showed to drawing 4. Moreover, the effective permeability of MR film, SAL, and the shielding film is the value which also took into consideration and estimated the effect of an anti-field.

[0016]

[Table 1] Regenerative-track width of face was set to 1.0 micrometers.

	膜 厚	実効透磁率
MR膜 (感磁層)	15 nm	150
SAL膜	10 nm	50
スペーサ膜	5 nm	1
下地膜	5 nm	1
永久磁石膜	30 nm (先端細り)	1
電極膜	100 nm (先端細り)	1
上および下ギャップ膜	50 nm	1
上および下シールド膜	2 μm	1000

[0017] As shown in drawing 5, the amount of magnetic flux impressed to a magnetosensitive layer from a permanent magnet decreases as the location of a magnetic pole keeps away from an ABATTEDO plane of composition. If especially X becomes larger than 50nm, the amount of magnetic flux impressed to a magnetosensitive layer will decrease rapidly. Since magnetic flux was absorbed at the shielding side, this is considered. Change of the amount of magnetic flux at the time of assuming that there is no shielding as reference was also written together to drawing 5. Thus, by the following explanation, when there is shielding, since it is only a permanent magnet near the MR component, that vertical bias can be effectually impressed to a magnetosensitive layer defines the thickness of a permanent magnet as thickness with a location (X= 50nm) of 50nm from a taper part so that drawing 4 may show. Moreover, the value which deducted the thickness TPM of a permanent magnet with a location of X= 50nm from the spacing Gs of vertical shielding to the perpendicular which crosses the start point (X= 0nm) of a taper as shown in drawing defines the playback gap thickness G1 as follows.

G1=G<sub>s</sub>-TPM [0018] Spacing of the permanent magnet which adjoined when the width of recording track decreased becomes small, the effectiveness of vertical bias increases, and a playback output declines. If shielding spacing Gs is made small in order to raise track recording density, the magnetic flux from a permanent magnet is absorbed by the upper part and lower shielding, a vertical bias field is not effectually impressed to a magnetosensitive layer, and the instability of a playback output cannot be controlled. It turns out that the value of a minimum required in order to control playback instability from this to M<sub>rt</sub> of the permanent magnet film, and the value of the upper limit which can secure a playback output exist. Moreover, if the thickness of a magnetosensitive layer increases even when M<sub>rt</sub> of a permanent magnet is fixed, the amount of magnetic flux per unit cross-sectional area of a magnetosensitive layer will serve as an index with the suitable ratio (M<sub>rt</sub>/M<sub>st</sub>) of M<sub>rt</sub> of a permanent magnet to M<sub>st</sub> of a magnetosensitive layer to control vertical bias in order to decrease. In subsequent explanation, M<sub>rt</sub>/M<sub>st</sub> will be called a magnetization ratio.

[0019] With hard disk drive equipment, in order to carry out record playback of the 0 or 1 sign, the magnetic reversal recorded on a medium is used. Although the field change accompanying the magnetic reversal in a medium is changed into 0 or 1 sign by playback by the magnetic-reluctance mold magnetic head, as shown in {0000}, when 0 continues, for example in a sign array, a magnetic reversal period is long, and on the contrary as shown in {1111}, when 1 continues, a magnetic reversal period becomes short. Although the ratio of lowest frequency and the highest frequency becomes the relation between 1:5 thru/or 1:6 in the sign playback used for the current hard disk drive unit, the inclination for a playback output to decrease is shown, so that it becomes a RF according to the cross protection of a playback wave. At this time, the intensity ratio of a playback output to the playback output and lowest frequency to the highest frequency becomes about 25 - 35%. It is desirable for there to be at least 0.3-0.4mV of playback outputs in a low frequency region in mistaking by the hard disk drive unit on the

other hand, and carrying out sign playback that there is nothing, since about 0.1mV of playback outputs from a head is the need. Therefore, in this invention, it decided to set up a magnetization ratio so that 0.4mV or more of playback outputs of a low frequency region can be secured.

[0020] In the quality of the material and the configuration which are shown in Table 2, the MR head was produced for the magnetization ratio of a permanent magnet between 0.5-3.2, and the hysteresis of a playback wave and the relation of a playback output were investigated. After the playback output assembled the MR head after depth processing to the suspension, it was surfaced on the record medium, and it was measured by low frequency. Moreover, the hysteresis measured the resistance change curve when giving the external magnetic field of \*\*150Oe, and defined it by area surrounded by the path at the time of the increment in a field like drawing 6, and reduction. With the head which a hysteresis like drawing 6 produces, since a playback output is changed at every record playback actuation, ERARETO of a drive deteriorates. Drawing 7 is the relation between a magnetization ratio and a playback output. It turned out that a playback output decreases as the magnetization ratio increased. since 0.4mV or more of playback outputs is required of low frequency as mentioned above, for obtaining the playback output of 0.4mV or more from this result -- a magnetization ratio -- it turns out that it must be 2.3 or less. Drawing 8 is the relation between a magnetization ratio and a hysteresis. It turns out that the hysteresis which generally appears in a playback component causes dispersion in a playback output, and it becomes the noise source of disk drive equipment. Therefore, the smaller possible one of a hysteresis is desirable. since a hysteresis increases [ a magnetization ratio ] from drawing 8 rapidly or less by 1.5 -- a hysteresis -- controlling -- a magnetization ratio -- 1.5 or more are needed. the value of the magnetization ratio which fulfills both a playback output and a hysteresis from drawing 7 and drawing 8 -- a 1.5 <= magnetization ratio -- it is expressed with <=2.3.

[0021]

[Table 2]

The configuration of the MR head made as an experiment, material property regenerative-track width of face 1.4-micrometer playback gap thickness G1 0.15micromMR height 0.8 micrometers

	膜 厚	実効透磁率
MR膜 (感磁層)	1 5 n m	1 5 0
S A L膜	1 0 n m	5 0
スペーサ膜	5 n m	1
下地膜	5 n m	1
電極膜	1 5 0 n m (先端細り)	1
上および下シールド膜	2. 5 $\mu$ m	1 0 0 0

[0022] In this invention, in order for numerical calculation to prescribe the playback gap thickness G1 of an actual head, the regenerative-track width of face Tw, and the relation of Mrt of the permanent magnet film, and Mst of a magnetosensitive layer, it is necessary to take correspondence with the property of numerical calculation and an actual head. Drawing 9 is the result of calculating the amount of magnetic flux given to a magnetosensitive layer from a permanent magnet when the parameter of Table 2 performs numerical calculation. It turns out that the amount phi of magnetic flux increases in proportion to the increment in a magnetization ratio. drawing 7 and the 1.5< magnetization ratio from drawing 8 -- the amount phi of magnetic flux corresponding to [ the range of <2.3 is desirable and ] this -- 7.7< phi<11.8 (3)

It is equivalent to \*\*\*\*\*. Therefore, subsequent count prescribes the minimum and upper limit of a magnetization ratio when changing Tw and G1 on the basis of the amount of magnetic flux of (3) types.

[0023] Moreover, it is the magneto-resistive effect mold magnetic head to which this invention is which the magnetic head of a publication above, and remanence ratio S=Mr/Ms given by the ratio of the residual magnetization Mr of the permanent magnet film and saturation magnetization Ms which is a means for impressing said magnetic bias is characterized by or more 0.7 being 1.0 or less.

[0024] The configuration of the magnetic-reluctance mold magnetic head seen from the surfacing side to

drawing 10 is shown. An electrode to energize the permanent magnet film and 11 for a magneto-resistive effect component, and for 7 energize 8 for a playback component and 15 are record magnetic poles. The playback component is magnetically shielded with the lower shielding film of 12, and the up shielding film of 13. For example, the saturation magnetization  $M_s$  of the permanent magnet ingredient used for a magneto-resistive effect mold head as a thin film material becomes 450 to 800 (emu/cm<sup>3</sup>) extent. If a remanence ratio  $S$  is 1 at this time, thickness required in order to obtain  $M_{rt}$  of 1 (memu/cm<sup>2</sup>) is 120-220 (Å). On the other hand, in the case where a remanence ratio  $S$  is 0.1, thickness required in order to obtain  $M_{rt}$  of 1 (memu/cm<sup>2</sup>) will amount to 1200-2200 (Å), and the regenerative-track both sides of a playback component will become thick. The configuration of this playback component circumference will also affect the configuration of a record magnetic pole. In order to ease the size effect of the playback component circumference, before forming a record magnetic pole, it is required to perform flattening of the field which arranges a magnetic pole, or to keep a playback component configuration flat. However, the activity of flattening makes the manufacture man day of the magnetic head increase, and has the demerit in which it leads to the increment in cost. On the other hand, without passing through an excessive process, the technique which keeps the configuration of a playback component itself flat can also shorten the time amount of film formation by making the permanent magnet film thin, and can raise the productivity of a magneto-resistive effect mold head.

[0025] Although the permanent magnet film permitted by this invention is determined by the value of  $M_{st}$  and  $G_1$  from (1) and (2) types,  $G_1$  follows on decreasing and  $M_{rt}$  becomes very large. For example, as for a permanent magnet, in the case of  $M_{st}=1$  (emu/cm<sup>3</sup>),  $M_{rt}$  of 5.0 (emu/cm<sup>3</sup>) is needed by the magnetization ratio 5, and when a permanent magnet ingredient with the saturation magnetization of 450 (emu/cm<sup>3</sup>) is used, the thickness of the permanent magnet film is given by the following relation.

$$= (\text{Permanent magnet thickness}) 5.0 \text{ (memu/cm}^2\text{)} / M_s \text{ (emu/cm}^3\text{)} <\text{BR}> = 5.0 \text{ (memu/cm}^2\text{)} / (450 \text{ (emu/cm}^3\text{)} \times S)$$

Therefore, the minimum thickness of the permanent magnet film is obtained at the time of a remanence ratio  $S=1$ , and is set to 1111 (Å). The thickness of the permanent magnet film becomes large, and it amounts to 1587 (Å) in a remanence ratio 0.7, and it amounts to 2222 (Å) in a remanence ratio 0.5 as a remanence ratio  $S$  becomes small. The component thickness of a magnetic-reluctance mold head is 500-600 (Å) extent, and the level difference of the component section which added the electrode for signal detection to this becomes 2000 (Å) extent at the time of a remanence ratio 0.7. Although this makes a record magnetic pole generate distortion which reaches 50% of record gap length, in order that the configuration distortion of 50% or more may degrade the property of O/W and playback wavelength remarkably, as for the remanence ratio of the permanent magnet film, it is desirable that it is 0.7 or more.

[0026] Moreover, this invention is the magnetic head indicated above, and is the magneto-resistive effect mold magnetic head characterized by being the alloy with which said permanent magnet film uses Co as a principal component, and being the permanent magnet film of Cr, Ta, Pt, and nickel which includes any one or more kinds at least as an alloying element to said alloy.

[0027]  $M_{rt}$  of the permanent magnet film which generates a bias field is controlled by the magneto-resistive effect mold head, and in order to acquire good reproducing characteristics, it is necessary to obtain the permanent magnet ingredient in which magnetic properties excellent in the condition of a thin film are shown. Thickness is able to secure more than coercive force  $H_c=1000$  Oe and  $S=0.7$  or more remanence ratios in 100-1000 (Å) by the permanent magnet film of the alloy which uses Co as a principal component.

[0028] Moreover, this invention is the magnetic head indicated above, and the playback component which has a magneto-resistive effect is the magneto-resistive effect mold magnetic head characterized by being constituted with two soft magnetism film by which the laminating was carried out through the spacer of non-magnetic metal.

[0029] In this invention, it is possible for it to be using ingredients, such as Cu and Ta, as a spacer of non-magnetic metal. As soft magnetism film by which the laminating was carried out, it is possible to use NiFe, Co, NiFeCo, CoFe, etc., and good soft magnetic characteristics can be obtained by having the

crystal structure of fcc.

[0030]

[Example] The dependency of the playback gap thickness  $G_1$  of the amount phi of magnetic flux impressed to MR film when changing a magnetization ratio by 1.0-5.0 using the parameter of Table 2 from the permanent magnet film was calculated. A result is shown in drawing 11. It turns out that the amount phi of magnetic flux impressed to a magnetosensitive layer decreases rapidly as  $G_1$  decreases like drawing 11. For example, when the amount of magnetic flux in case  $G_1$  is 0.09 micrometers, and the relation of a setting magnetization ratio are shown in drawing 12, it turns out that a magnetization ratio and the amount of magnetic flux are in proportionality mostly. therefore -- if the upper limit of a magnetization ratio and a minimum are specified from a convention of the amount of magnetic flux of (3) types -- a  $1.96 < \text{magnetization ratio} < 2.66$ . The upper limit of the magnetization ratio to the playback gap length  $G_1$  in case the regenerative-track width of face  $T_w$  is 1.4 micrometers, 0.95 micrometers, and 0.5 micrometers, respectively, and a minimum are shown in drawing 13 (a), drawing 13 (b), and drawing 13 (c). The value of the magnetization ratio which counted the axis of ordinate backward from the amount of magnetic flux here, and the axis of abscissa were made into the value of  $1/G_1$ . Since the magnetic flux absorbed by shielding increases, that a magnetization ratio must make it increase understands, as the playback gap lengths  $G_1$  decrease in number. Conversely, when the regenerative-track width of face  $T_w$  is narrow, moreover, it turns out by setting up a magnetization ratio low that production of a head with little output dispersion is attained by high power. Although it needed to ask for the multiplier which approximated the magnetization ratio and the value of  $1/G_1$  primarily about drawing 13 (a), drawing 13 (b), and drawing 13 (c) and the minimum magnetization ratio and the maximum magnetization ratio needed to be computed as a function of  $T_w$  and  $G_1$ , fitting [  $T_w 3/2/G_1$  in this case ] was appropriate. It makes an axis of ordinate a magnetization ratio by making an axis of abscissa to  $T_w 3/2/G_1$ , and drawing 14 re-plots drawing 13 (a), drawing 13 (b), and drawing 13 (c). Since it becomes the almost same inclination also when  $T_w$  is changed with 1.4 micrometers, 0.95 micrometers, and 0.5 micrometers from drawing 14, the following formulas can prescribe a magnetization ratio as a function of  $G_1$  and  $T_w$ .

$M_{rt}/M_{st} < 3/2/G_1 + 1.86$   $M_{rt}/M_{st} = 0.0599 T_w 3/2/G_1 + 1.12$  -- if a magnetization ratio is set up in this range, the stable MR head with little moreover [ high ] fluctuation of a playback output will become producible.

[0031] With an actual head, a difference arises in the amount of magnetic flux which each thickness may differ from permeability and is impressed to MR film from a permanent magnet. Then, the numeric value of how to whom the amount of magnetic flux calculates conversely the numeric value of how to calculate the amount of magnetic flux small (the same amount of magnetic flux is not obtained unless it enlarges a magnetization ratio) greatly to Table 3 (the amount of magnetic flux with the magnetization ratio same at least is obtained) was shown in Table 4. In the following count, two count was performed using the numeric value of Table 3 and Table 4.

[0032]

[Table 3] Count parameter (when estimating a magnetization ratio highly)

	膜 厚	実効透磁率
MR膜(感磁層)	1 5 n m	1 0 0
S A L膜	1 0 n m	3 0
T a膜	5 n m	1
スペーサ膜	5 n m	1
電極膜	1 0 0 n m (先端細り)	1
上下シールド膜	3. 0 $\mu$ m	1 5 0 0

[0033]

[Table 4] Count parameter (when estimating a magnetization ratio low)

	膜 厚	実効透磁率
MR膜(感磁層)	10 nm	150
SAL膜	6 nm	50
スペーサ膜	3 nm	1
下地膜	0 nm	1
電極膜	200 nm(先端細り)	1
上下シールド膜	1.5 μm	1000

[0034] A count result is shown in drawing 1. An axis of ordinate is plotted by the magnetization ratio, and the axis of abscissa is plotted by GI 3/2 of Tw(s). When a magnetization ratio is estimated highly, the upper limit of the magnetization ratio specified by (3) formulas and a minimum can be expressed with the following formulas (when the numeric value of Table 3 is used).

$$Mrt/Mst \leq 0.0649Tw3/2/GI + 1.92(1)$$

When a magnetization ratio is low estimated like  $Mrt/Mst \geq 0.0411Tw3/2/GI + 1.18$ , the upper limit of the magnetization ratio specified by (3) formulas and a minimum can be expressed with the following formulas (when the numeric value of Table 4 is used).

$$Mrt/Mst \leq 0.0540Tw3/2/GI + 1.81 \quad Mrt/Mst \geq 0.0317Tw3/2/GI + 1.07(2)$$

If the magnetization ratio of the range limited by (1) and (2) formulas is set up even when thickness differs from permeability etc. with a head more nearly actual than drawing 1, since the amount of magnetic flux which fills (3) types can be impressed to a magnetosensitive layer, the stable MR head with little moreover [ high ] fluctuation of a playback output will become producible.

[0035]

[Effect of the Invention] By using the magneto-resistive effect head of this invention, even if regenerative-track width of face and a playback gap become narrow, fluctuation of a playback output and a playback output can acquire few good reproducing characteristics.

---

[Translation done.]

(51) Int.Cl.<sup>6</sup>

G 11 B 5/39

識別記号

F I

G 11 B 5/39

審査請求 未請求 請求項の数4 O L (全 9 頁)

(21)出願番号

特願平10-73997

(22)出願日

平成10年(1998)3月23日

(71)出願人 000005083

日立金属株式会社

東京都千代田区丸の内2丁目1番2号

(72)発明者 深町 啓介

埼玉県熊谷市三ヶ尻5200番地日立金属株式  
会社磁性材料研究所内

(72)発明者 三俣 千春

埼玉県熊谷市三ヶ尻5200番地日立金属株式  
会社磁性材料研究所内

(72)発明者 下江 治

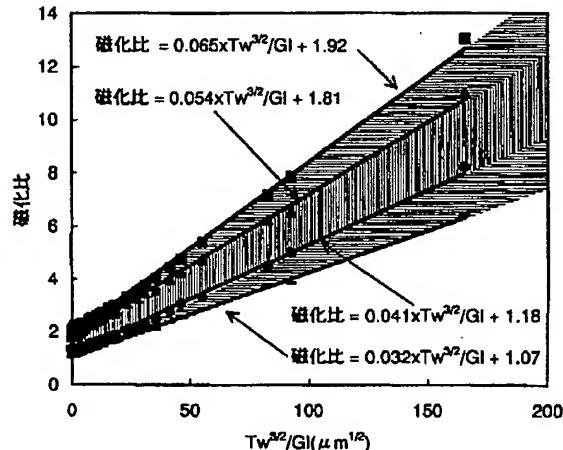
埼玉県熊谷市三ヶ尻5200番地日立金属株式  
会社磁性材料研究所内

## (54)【発明の名称】 磁気抵抗効果型磁気ヘッド

## (57)【要約】

【課題】 磁気抵抗効果型磁気ヘッドにおいて、再生トラック幅が狭くなると、縦バイアスが増加し再生感度が低下する。線記録密度が高くなると縦バイアスが減少し再生出力のばらつきが大きくなる。そこで、再生トラック幅、再生ギャップが狭くなっても再生出力および再生出力の変動が少ない良好な再生特性を得ることができる磁気抵抗効果型磁気ヘッドを提供する。

【解決手段】 再生トラック幅、再生ギャップ膜厚、感磁層の飽和磁化膜厚積の値に応じた永久磁石膜の残留磁化膜厚積を設定する。



### 【特許請求の範囲】

【請求項 1】 磁気抵抗効果を有する再生素子と前記再生素子に縦バイアス磁界を印加する永久磁石膜を備える磁気抵抗効果型磁気ヘッドにおいて、再生トラック幅を  $T_w$  ( $\mu m$ ) 、再生ギャップ膜厚を  $G_1$  ( $\mu m$ ) 、永久

$$M_{r\ t}/M_{s\ t} \leq 0.0649 T_w^{3/2}/G_1 + 1.92 \quad (1)$$

$$M_{r\ t}/M_{s\ t} \geq 0.0317 T_w^{3/2}/G_1 + 1.07 \quad (2)$$

によって規定される領域にあり、且つ再生トラック幅が  $1.5 \mu m$  以下、再生ギャップ長が  $0.2 \mu m$  以下であることを特徴とする磁気抵抗効果型磁気ヘッド。

【請求項 2】 請求項 1 に記載の磁気抵抗効果型磁気ヘッドであって、前記永久磁石膜の残留磁化  $M_r$  と飽和磁化  $M_s$  の比によって与えられる角形比  $S = M_r/M_s$  が、 $0.6$  以上  $1.0$  以下であることを特徴とする磁気抵抗効果型磁気ヘッド。

【請求項 3】 請求項 2 に記載された磁気抵抗効果型磁気ヘッドであって、前記永久磁石膜が  $C_o$  を主成分とする合金であり、前記合金に対する添加元素として  $C_r$  、  $T_a$  、  $P_t$  、  $N_i$  の少なくとも何れか 1 種類以上を含む永久磁石膜であることを特徴とする磁気抵抗効果型磁気ヘッド。

【請求項 4】 請求項 3 に記載の磁気抵抗効果型磁気ヘッドであって、磁気抵抗効果を有する再生素子が非磁性金属のスペーサを介して積層された 2 つの軟磁性膜によって構成されることを特徴とする磁気抵抗効果型磁気ヘッド。

### 【発明の詳細な説明】

#### 【0001】

【発明の属する技術分野】 本発明は、ハードディスク装置、VTR 等の磁気記録装置に用いられる磁気ヘッドに関するもので、特に磁気ヘッドの再生素子を構成する永久磁石膜、再生ギャップ、および再生トラック幅の構成に係わる。

#### 【0002】

【従来の技術】 ハードディスク装置あるいはVTR 等の磁気記録装置の小形大容量化は急激な勢いで進展している。このような動向に呼応して磁気ヘッドの高性能化が進められ、電磁誘導方式である薄膜磁気ヘッドから、薄膜の磁気抵抗効果現象を利用した異方性磁気抵抗効果ヘッド（以下 AMR ヘッド）へ、更にはスピンドル型磁気抵抗効果ヘッド（以下 SV ヘッド）と進化してきた。従来の AMR ヘッドは、例えば公知文献 I E E E T r a n s . M a g n . V o l 1 2 6 ( 1 9 9 0 ) p p 1 6 8 9 に述べられている。即ち、磁気記録媒体上の磁気信号の再生を行う磁気抵抗効果型素子（以下 MR 素子）は、非磁性材料からなる再生ギャップ膜を介して、MR 素子を磁気的に遮蔽するシールド磁性膜に挟み込まれた構造となる。一方、磁気記録媒体に磁気信号を記録する磁極には、誘導型磁気ヘッドを用いており、シールド磁性膜上に積層された構造を持つ。

磁石膜の残留磁化膜厚積を  $M_{r\ t}$  ( $m\ emu/cm^2$ ) 、感磁層の飽和磁化膜厚積を  $M_{s\ t}$  ( $m\ emu/cm^2$ ) とした時の再生トラック幅、再生ギャップ膜厚、永久磁石膜の残留磁化膜厚積、感磁層の飽和磁化膜厚積との関係が、

$$M_{r\ t}/M_{s\ t} \leq 0.0649 T_w^{3/2}/G_1 + 1.92 \quad (1)$$

$$M_{r\ t}/M_{s\ t} \geq 0.0317 T_w^{3/2}/G_1 + 1.07 \quad (2)$$

【0003】 磁気記録装置で面記録密度を増加させるためには、線記録密度とトラック密度の向上が不可欠である。トラック密度を向上させるには、再生トラック幅を減少させる必要がある。また、線記録密度を向上させるには、記録ビットを狭小化するために記録ヘッドのギャップ長を狭くしたり、記録ヘッドと記録媒体との浮上量を低くする等してより微細なビットを磁気記録媒体上に書き込む事が必要になるが、再生出力の波形の干渉効果によって高周波になるほど再生出力が減少する傾向を示す。これを防ぐために再生素子をシールドで挟み込む構造の磁気ヘッドが使われるようになった。ここで再生素子とは、MR 素子を含み、磁気ヘッドの再生動作に関する構造のことをいう。

【0004】 ところで、再生素子に用いられる MR 素子は、MR 素子内に発生する磁壁や磁区構造の影響を受けやすく、バルクハウゼンノイズの制御が必要である。制御手段の一つとして例えば I E E E T r a n s . M a g n . V o l . 3 2 ( 1 9 9 6 ) p p 1 9 に開示されたように、MR 素子に隣接させた永久磁石膜を用い、MR 素子にバイアス磁界を印加する方法がある。印加されたバイアス磁界は MR 素子のトラック幅方向の端部に発生する反磁界の影響を緩和し、MR 素子内に磁区が発生することを抑制することが出来る。

【0005】 例えば上記に開示された技術に関して具体的な永久磁石の材料を規定した技術が、米国特許 5 4 3 4 8 2 6 に開示されている。この技術では永久磁石膜を構成する材料として  $C_o C r P t$  、  $C_o C r T a$  、  $C_o C r T a P t$  および  $C_o C r P t B$  等の材料で構成され、このような材料の特徴として  $500 \sim 600 A$  の膜厚の時の残留磁化と膜厚の積が  $2.38 \sim 3.78 (m\ emu/cm^2)$  になることが明らかにされている。

【0006】 また、永久磁石膜の磁気特性が磁気抵抗効果型磁気ヘッドの特性に対して与える影響については、特開平 7-93714 に開示された技術のように永久磁石膜の保磁力の特性を向上させることでバルクハウゼンノイズや磁気ヘッドの再生出力のばらつきを低減できることが分かっている。

#### 【0007】

【発明が解決しようとする課題】 しかし、永久磁石膜が発生するバイアス磁界は、再生素子の磁化回転を抑制して安定化させる技術であるため、トラック密度を向上させるためにトラック幅を減少させると隣接した永久磁石膜の間隔が小さくなり、バイアス磁界による磁化回転抑

制の効果が増加する傾向を示す。このため再生素子の感度はいっそう低下し再生出力の低下が懸念される。また、線記録密度を向上させるために、シールド間隔を小さくすると、図4のように永久磁石膜からの磁束が上部シールドおよび下部シールドに吸収され、実効的にMR素子に縦バイアス磁界が印加されず再生出力の不安定性が制御できない。従って、バルクハウゼンノイズのような再生出力の不安定性を制御し、且つ再生出力が高い磁気ヘッドを得るために記録密度による再生トラック幅および再生ギャップ長に対応した特性の永久磁石膜を用いることが必要である。

$$M_{r\ t}/M_{s\ t} <= 0.0649 T_w^{3/2}/G_1 + 1.92 \quad (1)$$

$$M_{r\ t}/M_{s\ t} >= 0.0317 T_w^{3/2}/G_1 + 1.07 \quad (2)$$

によって規定される領域にあり、且つ再生トラック幅が  $1.5 \mu m$  以下、再生ギャップ長が  $0.2 \mu m$  以下であることを特徴とする。

【0009】ここで、再生トラック幅は、トラック幅方向における再生素子の寸法を表わす。また、再生ギャップ長とは、再生素子の近傍における上部シールドと下部シールドとの間隔の事を指す。ここで、上部シールドと下部シールドは、再生ギャップ膜を介して再生素子を挟むように配置される。また、再生ギャップ膜厚とは、トラック幅方向に垂直な向きにおける再生ギャップ膜の厚さの和の値、もしくは再生素子近傍における再生ギャップ長から永久磁石膜の厚さを引いた値を表す。感磁層とは磁気信号を検出する層の事であり、AMRヘッドの場合はMR層を示し、SVヘッドの場合はフリー層のことを表す。

【0010】本発明の磁気抵抗効果型磁気ヘッドでは、前記永久磁石膜の残留磁化  $M_r$  と飽和磁化  $M_s$  の比によって与えられる角形比  $S = M_r/M_s$  が、0.6以上 1.0以下であることを特徴とする。

【0011】また、本発明の磁気抵抗効果型磁気ヘッド

$$M_{r\ t}/M_{s\ t} <= 0.0649 T_w^{3/2}/G_1 + 1.92 \quad (1)$$

$$M_{r\ t}/M_{s\ t} >= 0.0317 T_w^{3/2}/G_1 + 1.07 \quad (2)$$

を満たす構成であり、且つ再生トラック幅を  $1.5 \mu m$  以下、再生ギャップ長を  $0.2 \mu m$  以下とする。上記の範囲を満たす構成を用いることにより、再生トラック幅および再生ギャップ長を狭くしても、永久磁石膜から十分な磁束量を感磁層に印加できる。

【0014】以下各図を用いて本発明の構成について順を追って説明する。図2はAMRヘッドの再生素子部分の断面図である。永久磁石膜はMR素子の両端に配置され、MR素子にバイアス磁界を印加してMR素子内に磁区が発生することを抑制する。図2のようにMR素子の両端にテーパーを付けその上に永久磁石膜を積層した構造を一般的にアバッテド接合と呼ぶ。MR膜1/スペーサ2/SAL3と永久磁石層7のアバッテド接合の形成工程は、例えば図3に示す様なリフトオフ法で行われる。ここで、SALとは近接軟磁性膜を表す。図3

### 【0008】

【課題を解決するための手段】本発明の磁気抵抗効果型磁気ヘッドは、磁気抵抗効果を有する再生素子と前記再生素子に縦バイアス磁界を印加する永久磁石膜を備える磁気抵抗効果型磁気ヘッドにおいて、再生トラック幅を  $T_w$  ( $\mu m$ ) 、再生ギャップ膜厚を  $G_1$  ( $\mu m$ ) 、永久磁石膜の残留磁化膜厚積を  $M_{r\ t}$  ( $emu/cm^2$ ) 、感磁層の飽和磁化膜厚積を  $M_{s\ t}$  ( $emu/cm^2$ ) とした時の再生トラック幅、再生ギャップ膜厚、永久磁石膜の残留磁化膜厚積、感磁層の飽和磁化膜厚積との関係が、

$$M_{r\ t}/M_{s\ t} <= 0.0649 T_w^{3/2}/G_1 + 1.92 \quad (1)$$

$$M_{r\ t}/M_{s\ t} >= 0.0317 T_w^{3/2}/G_1 + 1.07 \quad (2)$$

では、前記永久磁石膜が  $C_0$  を主成分とする合金であり、前記合金に対する添加元素として  $C_1$ 、 $T_1$ 、 $P_1$ 、 $N_1$  の少なくとも何れか1種類以上を含む永久磁石膜であることを特徴とする。

【0012】また、本発明の磁気抵抗効果型磁気ヘッドでは、磁気抵抗効果を有する再生素子が非磁性金属のスペーサを介して積層された2つの軟磁性膜によって構成されていることを特徴とする。

### 【0013】

【発明の実施の形態】図1において、再生トラック幅  $T_w$  ( $\mu m$ ) と再生ギャップ膜厚  $G_1$  ( $\mu m$ ) により規定する  $T_w^{3/2}/G_1$  に対して、再生出力の不安定性を制御するのに望ましい磁化比  $M_{r\ t}/M_{s\ t}$  の範囲を示す。ここで永久磁石膜の残留磁化膜厚積を  $M_{r\ t}$  ( $emu/cm^2$ ) 、感磁層の飽和磁化膜厚積を  $M_{s\ t}$  ( $emu/cm^2$ ) とする。本発明の磁気抵抗効果型磁気ヘッドは、磁気抵抗効果を有する再生素子と前記再生素子に縦バイアス磁界を印加する永久磁石膜を備え、永久磁石膜と感磁層が図1中に示した(1)式および(2)式、

$$M_{r\ t}/M_{s\ t} <= 0.0649 T_w^{3/2}/G_1 + 1.92 \quad (1)$$

$$M_{r\ t}/M_{s\ t} >= 0.0317 T_w^{3/2}/G_1 + 1.07 \quad (2)$$

(a)において、まずSAL3/スペーサ2/ MR膜1の上に感光性レジスト9をコートした後、 $SiO_2$  10をスパッタなどにより成膜する。次に  $SiO_2$  10の余分な部分をエッティングで除去したあと、RIE (Reactive Ion Etching) などによりレジストを選択的にエッティングし、図3(b)の様な形状を形成する。その後イオンミリングでテーパー部を形成した後、下地膜6および永久磁石膜7、電極膜8を順次スパッタなどで成膜し(図3(c))、最後にレジスト9と  $SiO_2$  10を有機溶剤などで除去し、アバッテド接合が形成される(図3(d))。

【0015】このようにして形成した永久磁石膜の形状は感光性レジスト9、 $SiO_2$  10の高さの影響を受けるため、その膜厚はMR素子に近づくにつれて次第に薄くなる。図4に先端が絞られた形状のときの永久磁石

膜の磁極および磁界の分布を模式的に示した。永久磁石膜の着磁は図面向かって右側へ  $T_w$  方向（再生トラック幅の向き）に行っている。先端が絞られると磁極が表面に発生するためこの様な分布になる。磁区制御に寄与するバイアス磁界はMR素子近傍の磁極から発生する磁束量で決まり、遠方の磁極からの磁束は上シールド及び下シールドに吸収されるため磁区制御にはほとんど寄与しない。図5は、図4にてMR素子に与えられる磁束量  $\phi$  が磁極の表れる位置Xによって、どのように変化するかを数値計算により求めた結果である。原点は感磁層のテ

ーパーの開始点をゼロとした。数値計算は2次元の有限要素法により各メッシュに透磁率と磁極を与え、感磁層を通過する磁束量を計算した。表1に数値計算で用いたパラメータを示す。ここで、再生トラック幅は感磁層のアバッテッド接合面のx方向の中心位置で図4に示すように定義した。また、MR膜、S A L、シールド膜の実効透磁率は反磁界の影響も考慮して見積もった値である。

#### 【0016】

【表1】再生トラック幅は  $1.0 \mu m$  とした。

	膜 厚	実効透磁率
MR膜（感磁層）	15 nm	150
S A L膜	10 nm	50
スペーサ膜	5 nm	1
下地膜	5 nm	1
永久磁石膜	30 nm (先端細り)	1
電極膜	100 nm (先端細り)	1
上および下ギャップ膜	50 nm	1
上および下シールド膜	2 $\mu m$	1000

【0017】図5に示すように、永久磁石から感磁層に印加される磁束量は磁極の位置がアバッテッド接合面から遠ざかるに従い減少する。特にXが  $50 \text{ nm}$  より大きくなると感磁層に印加される磁束量が急激に減少している。これは、シールド側に磁束が吸収されたためと考えられる。参考としてシールドが無いと仮定した場合の磁束量の変化も図5に併記した。このように、シールドがある場合実効的に縦バイアスを感磁層に印加できるのはMR素子近傍の永久磁石のみであるため、以下の説明では図4の示すように、永久磁石の膜厚をテーパー部分から  $50 \text{ nm}$  の位置 ( $X = 50 \text{ nm}$ ) での膜厚と定義する。また、再生ギャップ膜厚  $G_1$  は図に示すようにテーパーの開始点 ( $X = 0 \text{ nm}$ ) を横切る垂線に対しての上下シールドの間隔  $G_s$  から  $X = 50 \text{ nm}$  の位置での永久磁石の膜厚  $T_{PM}$  を差し引いた値で以下のように定義する。

$$G_1 = G_s - T_{PM}$$

【0018】トラック幅が減少すると隣接した永久磁石の間隔が小さくなり、縦バイアスの効果が増加し再生出力が低下する。線記録密度を向上させるために、シールド間隔  $G_s$  を小さくすると、上部および下部シールドに永久磁石からの磁束が吸収され、実効的に感磁層に縦バイアス磁界が印加されず再生出力の不安定性が制御できない。このことから永久磁石膜の  $M_{rt}$  には再生不安定性を制御するために必要な下限の値と、再生出力を確保できる上限の値が存在する事がわかる。また、永久磁石の  $M_{rt}$  が一定でも感磁層の膜厚が増えると感磁層の単位断面積当たりの磁束量は減少するため、縦バイアスを制御するには感磁層の  $M_{st}$  に対する永久磁石の  $M_{rt}$  の比率 ( $M_{rt}/M_{st}$ ) が適切な指標となる。以降の

説明では  $M_{rt}/M_{st}$  を磁化比と呼ぶこととする。

【0019】ハードディスクドライブ装置では0、1の符号を記録再生するために、媒体に記録される磁化の反転を用いている。媒体内の磁化の反転にともなう磁界変化は磁気抵抗型磁気ヘッドによる再生で0、1の符号に変換されるが、例えば符号配列が {0000} のように0が連続する場合は磁化の反転周期が長く、反対に {1111} のように1が連続する場合は磁化の反転周期が短くなる。現在ハードディスク装置に用いられている符号再生では最低周波数と最高周波数の比が  $1:5$  ないし  $1:6$  の関係になるが、再生波形の干渉効果によって高周波になるほど再生出力が減少する傾向を示す。この時、最高周波数に対する再生出力と最低周波数に対する再生出力の強度比は  $2.5 \sim 3.5\%$  程度になる。一方ハードディスク装置で誤り無く符号再生するにはヘッドからの再生出力が  $0.1 \text{ mV}$  程度必要であることから、低周波域での再生出力は最低  $0.3 \sim 0.4 \text{ mV}$  あることが望ましい。よって本発明では低周波域の再生出力を  $0.4 \text{ mV}$  以上確保出来るよう磁化比を設定することにした。

【0020】表2に示す材質、形状で、永久磁石の磁化比を  $0.5 \sim 3.2$  の間でMRヘッドを作製し、再生波形のヒステリシスと再生出力の関係を調べた。再生出力はデブス加工後のMRヘッドをサスペンションに組み立てた後に記録媒体上に浮上させ、低周波で測定した。またヒステリシスは  $\pm 1500 \text{ e}$  の外部磁界を与えた時の抵抗変化曲線を測定し、図6のような磁界の増加時と減少時の経路に囲まれる面積で定義した。図6の様なヒステリシスが生ずるヘッドでは、記録再生動作の度に再生出力が変動するためドライブのエラレートが劣化する。

図7は磁化比と再生出力の関係である。磁化比が増加するに従い再生出力は減少することがわかった。再生出力は前述の様に低周波で0.4mV以上必要であるので、この結果から0.4mV以上の再生出力を得るには、磁化比2.3以下でなければならない事がわかる。図8は磁化比とヒステリシスの関係である。一般に再生素子に現れるヒステリシスは再生出力のばらつきの原因となり、ディスクドライブ装置のノイズ源となることが分かっている。従ってヒステリシスはできるだけ小さい方が望ましい。図8より磁化比が1.5以下では急激にヒス

テリシスが増加するため、ヒステリシスを抑制するには磁化比1.5以上が必要となる。図7、図8より再生出力とヒステリシスの両方を満たす磁化比の値は1.5≤磁化比≤2.3で表される。

[0021]

[表2]

### 試作したMRヘッドの形状、材料特性

再生トラック幅 1.4 μm

再生ギャップ膜厚G 1 0. 15  $\mu$ m

MR高さ 0.8 μm

膜 厚	実効透磁率
MR膜(感磁層) 15 nm	150
SAL膜 10 nm	50
スペーサ膜 5 nm	1
下地膜 5 nm	1
電極膜 150 nm(先端細り)	1

【0022】本発明では数値計算で実際のヘッドの再生ギャップ膜厚G1、再生トラック幅Twと永久磁石膜のMr t、感磁層のMs tの関係を規定するため、数値計算と実際のヘッドとの特性との対応を取る必要がある。図9は表2のパラメータで数値計算を行ったときの永久磁石から感磁層に付与される磁束量を計算した結果である。磁化比の増加に比例して磁束量も増加することがわかる。図7、図8から1.5 < 磁化比 < 2.3の範囲が望ましく、これに対応する磁束量も

$$7.7 < \phi < 11.8 \quad (3)$$

の範囲に相当する。従って以降の計算では(3)式の磁束量を基準にして、 $T_w$ 、 $G_1$ を変更した時の磁化比の下限と上限を規定する。

【0023】また、本発明は上に記載の何れかの磁気ヘッドであって、前記磁気的バイアスを印加するための手段である永久磁石膜の残留磁化M<sub>r</sub>と飽和磁化M<sub>s</sub>の比によって与えられる角形比S=M<sub>r</sub>/M<sub>s</sub>が、0.7以上1.0以下であることを特徴とする磁気抵抗効果型磁気ヘッドである。

【0024】図10に浮上面から見た磁気抵抗型磁気ヘッドの形状を示す。7は永久磁石膜、11は磁気抵抗効果素子、8は再生素子に通電するための電極、15は記録磁極である。再生素子は12の下部シールド膜および13の上部シールド膜によって磁気的にシールドされている。例えば薄膜材料として磁気抵抗効果型ヘッドに用いられる永久磁石材料の飽和磁化M<sub>s</sub>は450～800

$$\begin{aligned}
 (\text{永久磁石膜厚}) &= 5.0 \text{ (emu/cm}^2\text{)} / M_s \text{ (emu/cm}^3\text{)} \\
 &= 5.0 \text{ (emu/cm}^2\text{)} / (450 \text{ (emu/cm}^3\text{)} \times S)
 \end{aligned}$$

よって永久磁石膜の最小膜厚は角形比  $S = 1$  の時に得られて、1111 (A) になる。角形比  $S$  が小さくなるに従って永久磁石膜の膜厚は大きくなり角形比 0.7 で 1587 (A)、角形比 0.5 で 2222 (A) に達する。磁気抵抗型ヘッドの素子膜厚は 500~600

$(\text{emu}/\text{cm}^3)^{0.001}$  になる。この時、角形比  $S$  が 1 であれば、 $1 \text{ (emu/cm}^2)$  の  $M_{rt}$  を得るために必要な膜厚は  $120 \sim 220 \text{ (A)}$  である。これに対して角形比  $S$  が 0.1 の場合では  $1 \text{ (emu/cm}^2)$  の  $M_{rt}$  を得るために必要な膜厚は  $1200 \sim 2200 \text{ (A)}$  にも達し、再生素子の再生トラック両側が厚くなってしまう。この再生素子周辺の形状は記録磁極の形状にも影響を及ぼすことになる。再生素子周辺の形状効果を緩和するためには、記録磁極を形成する前に磁極を配置する面の平坦化を行うかあるいは再生素子形状を平坦に保つことが必要である。しかし、平坦化の作業は磁気ヘッドの製造工数を増加させ、コストの増加につながるという短所を有する。これに対して再生素子の形状そのものを平坦に保つ技術は余分な工程を経ることなく、且つ永久磁石膜を薄くすることで膜形成の時間も短縮することが可能であり磁気抵抗効果型ヘッドの生産性を向上させることが出来る。†

【0025】本発明で許容される永久磁石膜は(1)、(2)式より $M_{st}$ 、 $G_1$ の値により決定されるが、 $G_1$ が減少するに伴い $M_{rt}$ が非常に大きくなる。例えば磁化比5で $M_{st} = 1$  (emu/cm<sup>3</sup>) の場合、永久磁石は5.0 (emu/cm<sup>3</sup>) の $M_{rt}$ が必要となり、450 (emu/cm<sup>3</sup>) の飽和磁化を持つ永久磁石材料を用いた場合、永久磁石膜の膜厚は以下の関係で与えられる。

$$(\text{cm}^2) / \text{Ms} \quad (\text{emu} / \text{cm}^3)$$

$$= 5.0 \text{ (emu/cm}^2\text{)} / (450 \text{ (emu/cm}^3\text{)} \times S)$$

(A) 程度であり、これに信号検出用の電極を加えた素子部の段差は角形比0.7の時に2000(A)程度になる。これは記録ギャップ長の50%に達する歪みを記録磁極に発生させるが、50%以上の形状歪みはO/Wおよび再生波長の特性を著しく劣化させるため、永久磁

石膜の角形比は0.7以上であることが望ましい。

【0026】また本発明は、上に記載された磁気ヘッドであって、前記永久磁石膜がCoを主成分とする合金であり、前記合金に対する添加元素としてCr、Ta、Pt、Niの少なくとも何れか1種類以上を含む永久磁石膜であることを特徴とする磁気抵抗効果型磁気ヘッドである。

【0027】磁気抵抗効果型ヘッドでバイアス磁界を発生する永久磁石膜のMr/tを制御し、良好な再生特性を得るために薄膜の状態で優れた磁気特性を示す永久磁石材料を得る必要がある。Coを主成分とする合金の永久磁石膜では膜厚が100~1000(A)の範囲で保磁力Hc=1000Oe以上、角形比S=0.7以上を確保することが可能である。

【0028】また本発明は、上に記載された磁気ヘッドであって、磁気抵抗効果を有する再生素子が非磁性金属のスペーサを介して積層された2つの軟磁性膜によって構成されていることを特徴とする磁気抵抗効果型磁気ヘッドである。

【0029】本発明において、非磁性金属のスペーサとしてはCu、Ta等の材料を用いいることが可能である。積層された軟磁性膜としては、NiFe、Co、NiFeCo、CoFe等を用いることが可能であり、fccの結晶構造を持つことによって良好な軟磁気特性を得ることが出来る。

【0030】

【実施例】表2のパラメータを用いて磁化比を1.0~5.0で変化させたときの、永久磁石膜からMR膜に印加される磁束量の再生ギャップ膜厚G1の依存性を計算した。結果を図11に示す。図11のようにG1が減少するに従い感磁層に印加される磁束量が急激に減少することがわかる。例えば、G1が0.09μmのときの磁束量と設定磁化比の関係を図12に示すと、磁化比と磁束量はほぼ比例関係にある事がわかる。従って、

(3)式の磁束量の規定より磁化比の上限、下限を規定すると1.96<磁化比<2.66となる。図13

(a)、図13(b)、図13(c)に再生トラック幅Twがそれぞれ1.4μm、0.95μm、0.5μmの場合の、再生ギャップ長G1に対する磁化比の上限、下限を示す。ここで縦軸は磁束量から逆算した磁化比の値、横軸は1/G1の値とした。再生ギャップ長G1が減少するに従い、シールドに吸収される磁束が増加するため磁化比は増加させなくてはならない事がわかる。逆に再生トラック幅Twが狭い場合には、磁化比を低く設定する事で、高出力でしかも出力ばらつきの少ないヘッドが作製可能になる事がわかる。図13(a)、図13(b)、図13(c)について磁化比と1/G1の値を一次近似した係数を求め、Tw、G1の関数として最小磁化比、最大磁化比を算出する必要があるが、この場合のTw<sup>3/2</sup>/G1でフィッティングするのが適切であった。図14は横軸をTw<sup>3/2</sup>/G1、縦軸を磁化比として図13(a)、図13(b)、図13(c)を再プロットしたものである。図14よりTwを1.4μm、0.95μm、0.5μmと変えた場合もほとんど同一の傾向になるため磁化比をG1、Twの関数として以下の式で規定する事ができる。

$$Mr/t/Mst \leq 0.0599Tw^{3/2}/G1 + 1.86$$

$$Mr/t/Mst \geq 0.0362Tw^{3/2}/G1 + 1.12$$

この範囲で磁化比を設定すれば、再生出力が高くしかも変動の少ない安定したMRヘッドが作製可能となる。

【0031】実際のヘッドではそれぞれの膜厚、透磁率が異なる場合があり、永久磁石からのMR膜に印加される磁束量に差が生じる。そこで磁束量が小さく計算される(磁化比を大きくしないと同じ磁束量が得られない)方の数値を表3に、逆に磁束量が大きく計算される(磁化比が少なくとも同じ磁束量が得られる)方の数値を表4に示した。以下の計算では表3、表4の数値を用いて二つの計算を行った。

【0032】

【表3】計算パラメータ(磁化比を高く見積もる場合)

	膜厚	実効透磁率
MR膜(感磁層)	15nm	100
SAL膜	10nm	30
Ta膜	5nm	1
スペーサ膜	5nm	1
電極膜	100nm(先端細り)	1
上下シールド膜	3.0μm	1500

【0033】

【表4】計算パラメータ(磁化比を低く見積もる場合)

	膜 厚	実効透磁率
MR膜 (感磁層)	10 nm	150
SAL膜	6 nm	50
スペーサ膜	3 nm	1
下地膜	0 nm	1
電極膜	200 nm (先端細り)	1

【0034】図1に計算結果を示す。縦軸は磁化比、横軸はT<sub>w</sub><sup>3/2</sup>/G1で規格化された式で規定される磁化比の上限、下限は以下の式で表せる。

見積もった場合（表3の数値を用いた場合）は、（3）

$$M_{rt}/M_{st} \leq 0.0649 T_w^{3/2}/G1 + 1.92 \quad (1)$$

$$M_{rt}/M_{st} \geq 0.0411 T_w^{3/2}/G1 + 1.$$

18

同様に磁化比を低く見積もった場合（表4の数値を用い

$$M_{rt}/M_{st} \leq 0.0540 T_w^{3/2}/G1 + 1.81 \quad (2)$$

$$M_{rt}/M_{st} \geq 0.0317 T_w^{3/2}/G1 + 1.07 \quad (3)$$

図1より実際のヘッドで膜厚、透磁率などが異なった場合でも、（1）、（2）式で規定される範囲の磁化比を設定すれば、（3）式を満たす磁束量を感磁層に印加できるため再生出力が高くしかも変動の少ない安定したMRヘッドが作製可能となる。

【0035】

【発明の効果】本発明の磁気抵抗効果ヘッドを用いることにより、再生トラック幅、再生ギャップが狭くなつても再生出力および再生出力の変動が少ない良好な再生特性を得ることが出来る。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明で規定する再生トラック幅、再生ギャップ膜厚、磁化比の範囲を示す図。

【図2】再生素子の断面図。

【図3】アバッテド接合の形成工程の概略図。

【図4】再生素子部分における永久磁石膜の磁極分布の模式図。

【図5】感磁層に印加される磁束量のシールドによる減少を示す図。

【図6】MRヘッドの再生出力に見られるヒステリシスの定義を表す図。

【0036】図1に計算結果を示す。縦軸は再生出力、横軸はT<sub>w</sub><sup>3/2</sup>/G1で規格化された式で規定される磁化比の上限、下限は以下の式で表せる。

見積もった場合（表3の数値を用いた場合）は、（3）式で規定される磁化比の上限、下限は以下の式で表せる。

【図7】磁化比と再生出力の関係を示す図。

【図8】磁化比とヒステリシスの関係を示す図。

【図9】磁化比と感磁層に印加される磁束量の関係を示す図。

【図10】MRヘッドの概略図。

【図11】感磁層に印加される磁束量の再生ギャップ膜厚依存性を説明する図。

【図12】G1 = 0.09 μmにおける磁化比と磁束量の関係を示す図。

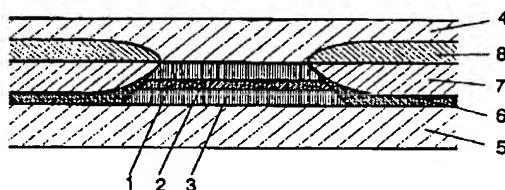
【図13】再生ギャップ膜厚と磁化比の規定範囲を示す図。

【図14】再生トラック幅、再生ギャップ膜厚と磁化比の規定範囲を示す図。

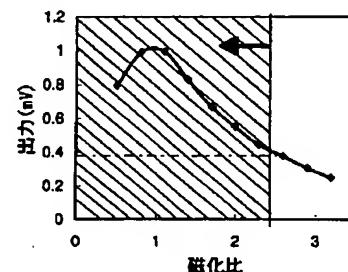
【符号の説明】

1 MR膜、2 スペーサ、3 SAL、4 上部ギャップ膜、5 下部ギャップ膜、6 下地膜、7 永久磁石膜、8 電極膜、9 感光性レジスト、10 SiO<sub>2</sub>、11 磁気抵抗効果素子、12 下部シールド、13 上部シールド、14 シールド間隔、15 上部磁極、16 記録コイル。

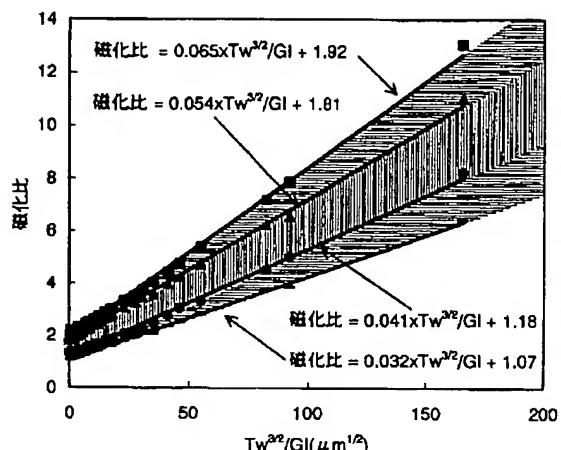
【図2】



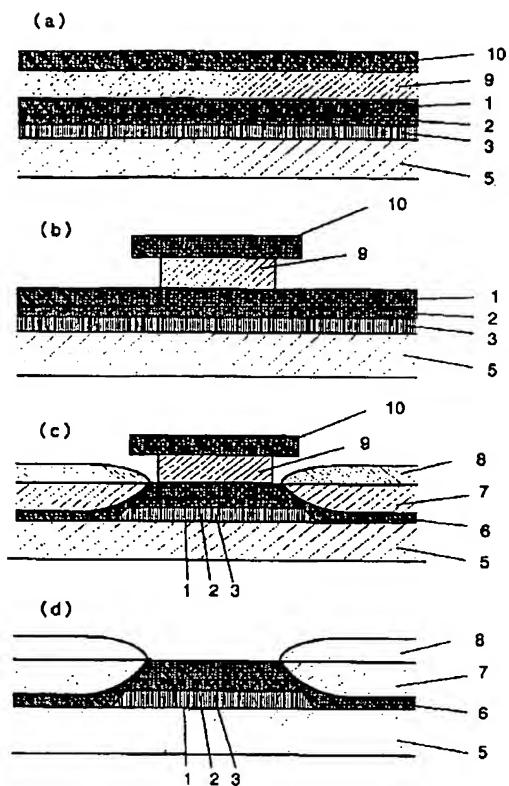
【図7】



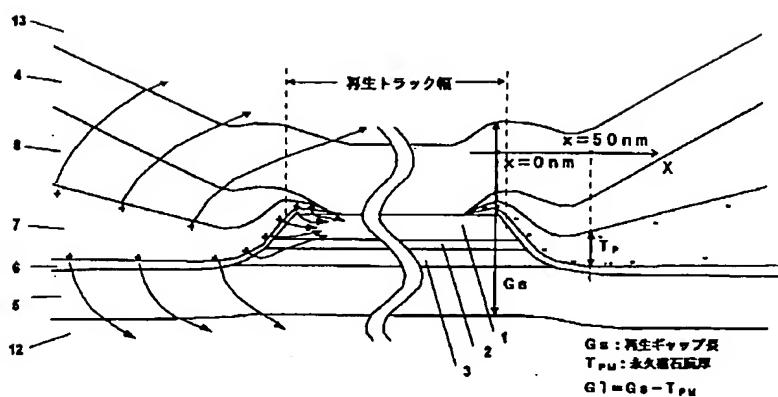
【図 1】



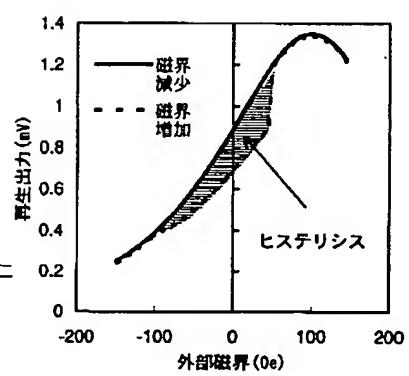
【図 3】



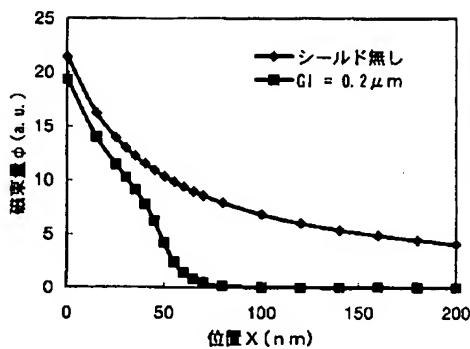
【図 4】



【図 6】

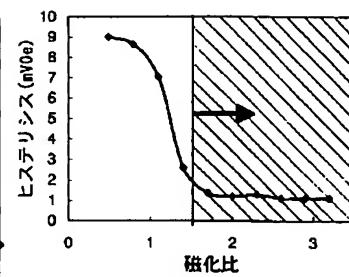


【図 5】

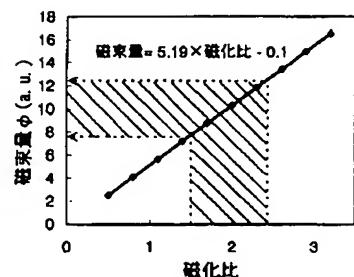


【図 10】

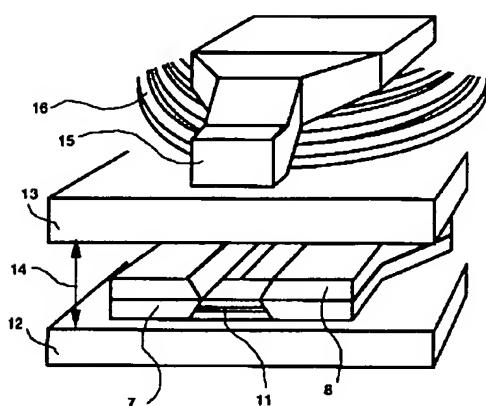
【図 8】



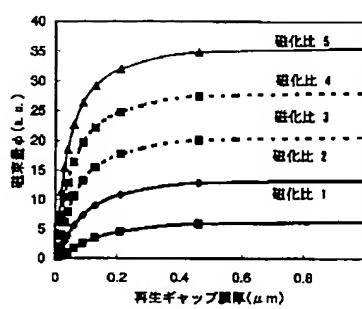
【図 9】



【図 11】



【図 12】



【図 14】

